

电厂高压主汽门滤网裂纹焊接修复 试验及工程应用

苏州热工研究院有限公司 (江苏 215004) 朱平 赵建仓

江苏常熟发电有限公司 (215536) 王志刚 王淦刚

【摘要】 针对电厂服役的主汽门滤网筒体网孔出现的裂纹特征, FISCO 试验验证了焊接材料和焊接热输入, 分别设计实施了离散孔修复、多孔集中修复和大面积镶嵌修复三种焊接修复试验。结果表明, 采用设计的三种焊接修复方法可有效实现滤网不同深度、不同分布特征的裂纹修复, 并使焊接变形处于可接收范围, 特别对大面积开裂的情况采用镶嵌法可降低整体应力和变形, 大大降低了焊接修复难度和减少焊接金属填充量。

一、前言

电厂汽轮机高压主汽门前蒸汽温度 535℃、压力 16.18MPa, 主汽门前固定不锈钢筒状滤网, 可防止因杂物进入而引起汽轮机事故, 其材质为 1Cr18Ni9Ti-74, 规格为 ID472mm × 19.5mm × 435mm (长), 制造方法为卷板焊接成筒, 然后密集钻 5125 个孔 (小孔 $\phi 7.2\text{mm}$ 、外壁 $\phi 10\text{mm}$), 进行固溶及稳定化处理 (见图 1)。不锈钢滤网累计运行 8 万 h 左右, 计划性检修时发现滤网网孔孔壁出现目视可见裂纹, 主要分布在滤网孔壁, 即筒体外部至壁厚一定区域, 部分裂纹贯穿整个孔壁成为裂口 (见图 2)。

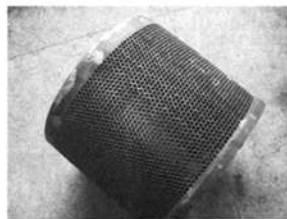


图 1 不锈钢滤网筒体照片

拟对出现裂纹的滤网进行焊接修复, 以延长其使用寿命, 同时通过试验, 掌握不锈钢滤网的裂纹修复技术, 供在役滤网进行消除缺陷处理的工程应用。

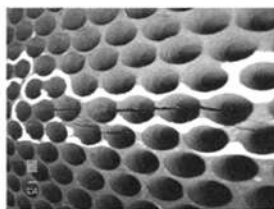


图 2 不锈钢滤网筒体裂纹照片

二、滤网焊接修复关键技术要求

滤网开裂的区域如果面积较大, 修复后需设法恢复原有的形貌结构。由于不锈钢线膨胀系数较大, 应避免修复中局部的应力及变形导致原有未出现裂纹的网孔发生拉裂, 增加滤网筒体装配难度, 同时需控制焊接层间温度, 因此在焊接过程中应合理设计焊接顺序和单次的焊接工作量。另外, 因网孔直径较小, 孔壁较薄, 易造成焊接击穿孔壁和局部未熔合、未焊透缺陷, 应充分尝试和模拟焊接操作, 确保焊接工艺质量。由于开裂的网孔有集中分布和离散分布两类特征, 因此应针对不同情况分别进行焊接修复工艺设计, 以降低焊接填充量和焊接操作难度。

三、滤网焊接修复工艺试验

1. FISCO 焊接热裂纹试验

根据不锈钢滤网筒体的成分选择 H0Cr20Ni10Ti

焊丝进行修复,修复工艺试验前进行了不锈钢焊接热裂纹试验,试验参照“压板对接(FISCO)焊接裂纹试验方法”(原国标 GB 4675.4—1984)标准进行,试件装夹及试件照片如图3、图4所示。试验结果表明,试件焊缝上下表面,特别是各段焊缝收弧的弧坑位置,均未发现任何形式的裂纹。将试件沿焊缝纵向弯断后观察发现,采用较小热输入(12kJ/cm)施焊的试件未出现裂纹,而采用较大热输入(16kJ/cm)施焊的试件有裂纹产生,裂纹呈现氧化色彩的特征,应是高温状态下形成并被氧化,判断是凝固(结晶)热裂纹。裂纹目视宏观可见(见图5),出现在焊缝中下部,4段焊道均出现了裂纹,共5处,长度较短,且未穿透至焊缝表面,经测量计算其裂纹率为3.22%。结果表明,焊接热输入控制在12kJ/cm内可避免热裂纹产生。



图3 试验装夹



图4 试件

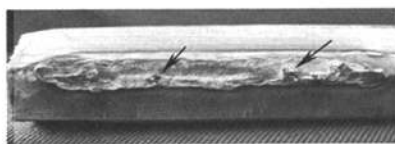


图5 焊道弯断后的断面特征

2. 模拟焊接修复试验

(1) 离散网孔补焊试验 ①针对开裂较浅(不超过1/3)的离散网孔,采用手工钨极氩弧焊直接修复的方法,小电流焊接,防止电流较大将下部孔壁熔透。②开裂较深(1/3~2/3壁厚深度范围)的离散网孔(见图6),因钨极探入深度、与周围孔筋接触引弧及视线的影响难以实施直接修复,采用打磨

待修复网孔孔筋及焊枪倾斜方向紧邻网孔孔筋的方法,使焊枪倾斜深入的情况下视线可见熔池,在裂纹孔筋修复后再焊接修复辅助网孔孔筋,初始可采用较小电流,随后将电流加大100A,待施焊至表面时将电流减小。③对于开裂深度更大甚至贯穿的离散网孔,采用②中所述方法从两侧打磨孔筋,由于内外壁孔径不同,打磨时外壁打磨深度应超过1/2壁厚深度,保留0.5mm钝边,采用的电流与②基本相同。

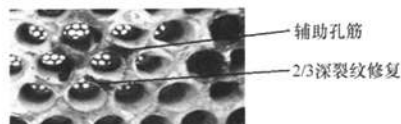


图6 2/3壁厚深孔裂纹焊接修复

修复后采用线切割将修复孔壁剖开,检测熔合效果,经多次反复试验,最终实现不同深度的裂纹均能实现全部熔合(见图7)。

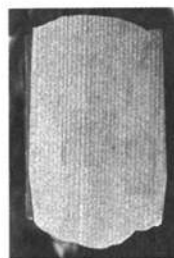


图7 裂纹滤网修复断面

(2) 相对集中网孔裂纹焊接修复 修复技术要点:对主要呈周向分布的相对集中的多个裂纹的网孔,按照已发现和可能出现的网孔分布位置制备多个网孔的待焊区域(见图8)形状相对规则,可直接采用堆焊的方法实施修复。堆焊采用间隔、对称、短焊道及加速冷却等方法实施。要求补焊区域熔敷金属须略高于滤网外表面,打磨内外表面至与未补焊区域齐平(见图9)。



图8 集中修复的待焊区域制备



图9 集中修复后的焊缝表面

补焊效果检测：截取修复接头试样观察金相组织，检测显微硬度，进行晶间腐蚀试验。试件经解剖后未发现未融合、未焊透等宏观工艺性缺陷，表明试件焊接工艺可行。显微状态下未发现裂纹、过烧等不良组织缺陷，也未发现保护不良造成的氧化现象。接头熔合区（见图10）过渡良好，母材与焊缝间边界较明显，焊缝金属组织为奥氏体+铁素体，焊缝中 δ —铁素体呈蠕虫状，表明修复后接头金相组织正常。

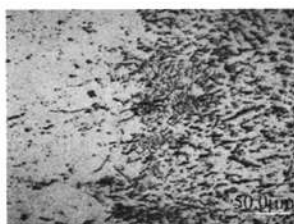


图10 熔合区金相照片 $\times 500$

从焊缝区至熔合区再到母材，在20mm宽度范围内显微硬度在210~252HV之间（见图11）。显微硬度分布平稳，说明焊缝粗晶区晶粒长大不明显，这与金相组织形态是对应的，同时也说明滤网模拟补焊过程中的焊接热输入和焊接操作方法是合理的。

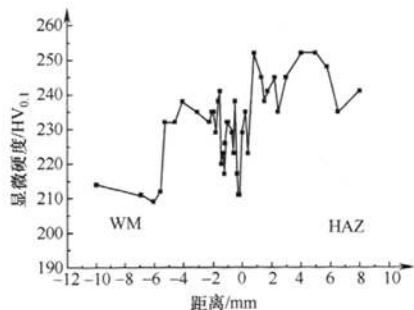


图11 接头硬度分布曲线

按GB/T 4334.5—2000《不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法》进行晶间腐蚀试验，经腐蚀后的焊缝和熔合区晶界均微清晰显现，腐蚀表面只有一些黑

色的腐蚀斑点出现，焊缝表面边缘平整，无晶粒脱落。焊缝和熔合区整体上受腐蚀程度较轻，晶间腐蚀迹象不明显（见图12）。

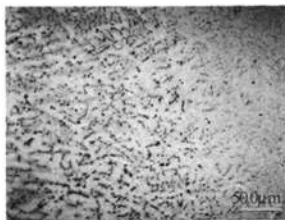


图12 晶间腐蚀后熔合区金相组织特征

(3) 大范围网孔开裂镶嵌焊接修复试验 焊接修复要点：针对大面积出现开裂网孔的区域，采用直接堆焊的方法修复填充量大、修复区域应力大，因此采用割除镶嵌的办法。镶嵌料选择在废弃的滤网上选整体质量较好的区域作为填充块，要求两者材质相同，且热处理方式相同，运行时间接近；同时两者结构基本相同。镶嵌块边缘均加工成不对称X形坡口，滤网筒体待修复区域堆焊成非对称X形坡口，并采用砂轮机打磨修整，降低焊接修复的工作量和修复难度。采用正反两面逐层交替焊接，根部焊道焊接过程中跟踪氩气保护。

实施效果分析：补焊后滤网筒体整体向内凹陷1.0mm，保证了筒体的装配要求，内外表面及孔内进行PT渗透探伤，补焊区域未发现裂纹。沿孔筋厚度中心线切割切开（见图13），宏观断面（见图14）

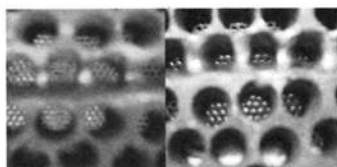


图13 孔筋焊接对口照片

无未焊透缺陷，说明焊接修复操作工艺可行。补焊断面熔合良好，显微状态下组织（见图15）无裂纹等微观缺陷。



图14 切割面形貌

特高压输电线路工程钢管塔加工关键技术

中国电力科学研究院 (北京 100070) 徐德录 常建伟 张东英 张磊 王慧 于长海 包乐庆

【摘要】 结合我国输电线路钢管塔加工技术现状和皖电东送(淮南—上海)1000kV特高压输电线路工程钢管塔加工技术要求,简要论述了特高压输电线路工程钢管塔用关键原材料、构件制作、焊接、检验、监造以及高强钢应用等方面的关键技术。

输电线路钢管塔是指主材用圆形钢管构件,斜材(或辅助材)用钢管或圆钢、型钢等构件组成的空间格构式结构。日本是钢管塔使用较多的国家,在1000kV、500kV和220kV等输电线路中均广泛使

用钢管塔,并广泛采用带颈法兰和直缝焊管对接焊的连接形式。我国输电线路钢管塔最初主要应用于大跨越工程,据不完全统计,不同电压等级的大跨越工程中已有近30个跨越采用了钢管塔结构,主要

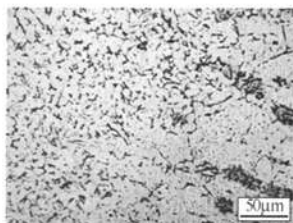


图15 接头熔合区显微金相组织

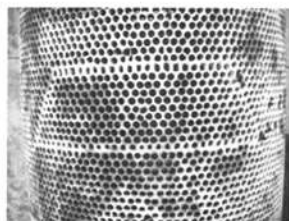


图17 滤网裂纹工程镶嵌修复

四、工程应用

根据工艺试验总结形成“滤网焊接修复工艺规程”,应用于服役滤网的工程修复。按照开裂范围分别采用了集中修复和镶嵌修复的方法进行,修复区域如图16、图17所示,修复后整体渗透探伤未发现

周围网孔出现大范围拉裂现象,修复区域整体变形满足筒体现场装配要求。实践证明,制定的工艺规程可满足汽轮机高压主汽门滤网的焊接修复需要。

五、结语

(1) 压板对接(FISCO)焊接裂纹试验结果表明,采用H0Cr20Ni10Ti焊丝、在热输入量12kJ/cm内可防止不锈钢高压主汽门焊接热裂纹产生。

(2) 根据裂纹分布特征,设计了离散修复、集中修复和镶嵌修复三种方案,试验结果和工程修复应用表明,对应的滤网焊接修复技术方案和工艺实现了裂纹的消除和变形控制,尤其是镶嵌修复可大量减少焊接填充量,修复质量满足工程技术要求。

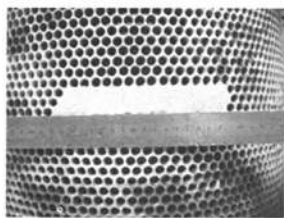


图16 滤网裂纹工程集中修复

MW (20110425)